



⑮ **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 101 25 106 A 1**

⑤ Int. Cl.⁷:
H 01 M 8/04

⑳ Aktenzeichen: 101 25 106.8
㉔ Anmeldetag: 23. 5. 2001
㉕ Offenlegungstag: 5. 12. 2002

DE 101 25 106 A 1

㉑ **Anmelder:**
DaimlerChrysler AG, 70567 Stuttgart, DE

㉒ **Erfinder:**
Autenrieth, Rainer, Dipl.-Ing., 71723 Großbottwar,
DE; Gerberich, Robert, Dipl.-Phys., 87439 Kempten,
DE; Konrad, Gerhard, Dr., 89081 Ulm, DE; Ledwig,
Karsten, Dipl.-Ing., 35647 Waldsolms, DE; Niehues,
Michael, Dipl.-Ing., 89073 Ulm, DE; Walter, Markus,
Dipl.-Ing., 72555 Metzingen, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ **Brennstoffzellensystem**

⑤⑦ Ein Brennstoffzellensystem, insbesondere für ein Fahrzeug, weist eine Einrichtung zum Bereitstellen der Betriebsstoffe für eine Brennstoffzelle und einer elektrischen Energiespeichereinrichtung. Die Energiespeichereinrichtung besteht aus einer Batterie und einem Ladungszwischenspeicher, welcher einen geringeren Innenwiderstand hat als die Batterie. In der elektrischen Verbindung zwischen der Energiespeichereinrichtung und der Brennstoffzelle ist ein Schalter vorgesehen.

DE 101 25 106 A 1

[0001] Die Erfindung betrifft ein Brennstoffzellensystem sowie ein Verfahren zum Betreiben eines Brennstoffzellensystems nach der im Oberbegriff von Anspruch 1 näher definierten Art.

[0002] Ein gattungsgemäßes Brennstoffzellensystem ist aus der EP 0 782 209 A1 bekannt. Dieses Brennstoffzellensystem weist eine Batterie auf, um die systembedingt vergleichsweise träge Brennstoffzelle in Systemen einsetzen zu können, welche sehr hohe dynamische Anforderungen an die Leistungsbereitstellung aufweisen.

[0003] Grundsätzlich stellt sich bei der Kopplung von Brennstoffzellen und Batterie aufgrund der vorliegenden Kennlinien der Brennstoffzelle und der dagegen vergleichsweise steifen Kennlinie der Batterie ein dem Schnittpunkt dieser Kennlinien entsprechender Betriebspunkt ein. Dieser Betriebspunkt ist jedoch häufig nicht gewünscht, da entsprechend hohe Ströme zum Laden der Batterie nicht erforderlich sind oder die Brennstoffzelle nicht unter optimalen Betriebsbedingungen eingesetzt wird. Dadurch wird der Wirkungsgrad des Systems aufgrund des vergleichsweise hohen inneren Widerstands der Batterie und der ungünstigen Betriebsbedingungen der Brennstoffzelle verschlechtert.

[0004] In der oben genannten EP 0 782 209 A1 ist nun ein System aus Schwingkreis, Trafo und Gleichrichter zwischen der Batterie und der Brennstoffzelle eingesetzt, welcher grundlegend in der Art eines DC/DC-Wandlers aufgebaut ist. Über diesen DC/DC-Wandler lassen sich die Kennlinien der Brennstoffzelle und der Batterie vollständig voneinander entkoppeln und es lassen sich für die Batterie und die Brennstoffzelle die jeweils günstigsten Betriebsbedingungen einstellen, ohne daß sich die Elemente gegenteilig zu ihrem Nachteil beeinflussen.

[0005] Der Aufbau mit dem DC/DC-Wandler stellt jedoch bei der Serienfertigung von derartigen Systemen, beispielsweise zum Einsatz in Kraftfahrzeugen, einen gravierenden Nachteil dar. Derartige DC/DC-Wandler sind vergleichsweise anfällig, brauchen einen relativ großen Bauraum und sind insbesondere sehr teuer, so daß sich die Anlage insgesamt massiv verteuert, was beispielsweise für den oben genannten Einsatzfall von Brennstoffzellensystemen in einem Kraftfahrzeug aufgrund der vergleichsweise hohen zu erwartenden Stückzahlen gravierende nachteilige Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit von derartigen Systemen hat.

[0006] Es ist daher die Aufgabe der Erfindung, ein Brennstoffzellensystem sowie ein Verfahren zum Betrieb dieses Brennstoffzellensystems zu schaffen, welches die oben genannten Nachteile des Standes der Technik vermeidet und ein kostengünstiges, robustes und zuverlässig arbeitendes System darstellt.

[0007] Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch die im kennzeichnenden Teil von Anspruch 1 genannten Merkmale gelöst. Ein entsprechendes Verfahren zum Betreiben ist durch den kennzeichnenden Teil des Anspruchs 10 beschrieben.

[0008] Der Aufbau der Energiespeichereinrichtung aus einer Batterie und einem Ladungswischenspeicher mit einem weitaus geringeren Innenwiderstand als der der Batterie sowie der Einsatz eines Schalters zwischen der Energiespeichereinrichtung und der Brennstoffzelle stellen einen Aufbau dar, welcher den Betrieb eines derartigen Brennstoffzellensystems mit sehr gutem Wirkungsgrad bei minimalem Einsatz an Bauteilen ermöglicht.

[0009] Durch den Schalter kann das Brennstoffzellensystem je nach bereitstehender Leistungsabgabe der Brennstoffzelle zugeschaltet oder abgeschaltet werden. Sollte beispielsweise die Brennstoffzelle nicht in der Lage sein, die

benötigte Leistung bereitzustellen, so wird der Schalter geöffnet und die angeschlossenen elektrischen Verbraucher beziehen ihre Leistung direkt aus der Batterie. Wenn die Brennstoffzelle sich wieder erholt hat, kann der Schalter geschlossen werden und der sofort einsetzende vergleichsweise hohe Strom wird in dem Ladungswischenspeicher zu einem großen Teil zwischengespeichert und nur ein vergleichsweise geringer Anteil gelangt zur Batterie und lädt diese. Die Verbraucher können dabei weiterhin die erforderliche elektrische Leistung aus dem Bereich der Batterie abnehmen. Wird der Schalter nun wieder geöffnet, weil die Brennstoffzelle wieder in einem kritischen Bereich ihrer Kennlinie läuft, so kann die Batterie weiterhin von der in dem Ladungswischenspeicher zwischengespeicherten Ladung nachgeladen werden, während die von dem System abgekoppelte Brennstoffzelle sich wieder erholen kann.

[0010] Durch ein andauerndes Betätigen des Schalters in einem geeigneten Rhythmus, beispielsweise in Abhängigkeit von vorgegebenen Grenzspannungen, wie dies ein besonders günstiges Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens vorsieht, kann so erreicht werden, daß die Systemspannung in einem Spannungsbereich bzw. Spannungsfenster gehalten wird, also in sinnvollen Grenzen praktisch als konstant angenommen werden kann.

[0011] Die Brennstoffzelle wird also nicht auf einem bestimmten Betriebspunkt betrieben, sondern kann zumindest einen Teil ihrer Kennlinie immer wieder durchlaufen, wobei die einzelnen Zyklen durch die Betätigung des Schalters vorgegeben werden können. Damit kann erreicht werden, daß die von der Brennstoffzelle abgegebene Leistung in die Energiespeichereinrichtung eingeladen wird, während die für die Verbraucher erforderlichen, zum Teil extrem dynamischen Leistungsanforderungen durch die Energiespeichereinrichtung bereitgestellt werden.

[0012] Eine Energiespeichereinrichtung, insbesondere eine Batterie, kann aufgrund ihrer sehr steifen Kennlinie dabei sehr hohen dynamischen Anforderungen genügen, welche bei einer Brennstoffzelle sehr schwer bzw. sehr teuer zu realisieren wären. Insbesondere beim Betrieb der Brennstoffzelle mit einem Gaserzeugungssystem, welches das für die Anodenseite erforderliche wasserstoffhaltige Gas synthetisiert, würde ein hochdynamischer Betrieb der Brennstoffzelle bedeuten, daß auch dieses Gaserzeugungssystem die erforderlichen Mengen an Betriebsstoffen hochdynamisch bereitstellen müßte. Um ein derartiges Gaserzeugungssystem, welches an sich aus dem Stand der Technik allgemein bekannt ist, hochdynamisch auszugestalten, würden jedoch extreme Anforderungen anfallen, welche in einem Gaserzeugungssystem nur mit sehr großem Aufwand an Bauteilen, Entwicklung und Kosten zu bewältigen sind.

[0013] Die Batterie des erfindungsgemäßen Systems in der erfindungsgemäßen Art dieses System zu betreiben, kann diese hochdynamischen Anforderungen bei weitem einfacher und kostengünstiger erfüllen, so daß das Gaserzeugungssystem vergleichsweise einfach und damit kostensparender ausgebildet werden kann.

[0014] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den restlichen Unteransprüchen sowie dem anhand der Zeichnungen nachfolgend dargestellten Ausführungsbeispiel.

[0015] Es zeigt:

[0016] Fig. 1 eine prinzipmäßige Darstellung eines beispielhaften Aufbaus des erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystems;

[0017] Fig. 2 eine detailliertere Prinzipdarstellung der Energiespeichereinrichtung des Brennstoffzellensystems gemäß Fig. 1;

[0018] Fig. 3 eine prinzipmäßige Darstellung einer Be-

triebsstoffversorgung einer Anodenseite einer Brennstoffzelle des Brennstoffzellensystems gemäß Fig. 1; und
 [0019] Fig. 4 systematische Darstellung des Verlaufs der Systemspannung und des von der Brennstoffzelle stammenden Stroms in einem Spannungs-Zeit- bzw. Strom-Zeit-Diagramm.

[0020] Fig. 1 zeigt den grundlegenden prinzipmäßigen Aufbau eines Brennstoffzellensystems 1 gemäß der Erfindung. Das Brennstoffzellensystem 1 weist eine Brennstoffzelle 2 mit einem Anodenraum 2a und einem Kathodenraum 2b auf. Der Anodenraum 2a der Brennstoffzelle 2 ist dabei durch eine protonenleitende Membran 3 (PEM) von dem Kathodenraum 2b der Brennstoffzelle 2 getrennt. Grundsätzlich kann unter der Brennstoffzelle 2 selbstverständlich nicht nur eine einzelne Zelle, sondern auch ein Brennstoffzellenstack verstanden werden. Neben der beispielhaft für das Ausführungsbeispiel gewählten PEM-Brennstoffzelle 2 sind selbstverständlich auch viele andere Typen von Brennstoffzellen 2 in Zusammenhang mit den hier beschriebenen Ausführungen denkbar, z. B. phosphorsaure Brennstoffzellen, Direkt-Methanol-Brennstoffzellen oder dergleichen.

[0021] Der Anodenraum 2a ist über eine Einrichtung 4a zur Versorgung der Brennstoffzelle 2 mit Betriebsstoffen, hier insbesondere einem Gaserzeugungssystem 4a, gekoppelt, durch welches der Anodenraum 2a der Brennstoffzelle 2 mit dem für ihn erforderlichen Betriebsstoff, bei einer PEM-Brennstoffzelle im allgemeinen Wasserstoff, versorgt werden kann.

[0022] Der Kathodenraum 2b der Brennstoffzelle 2 ist ebenfalls über eine Einrichtung zur Bereitstellung von Betriebsstoffen 4b, hier beispielsweise ein Luftversorgungssystem 4b, verbunden.

[0023] Außerdem sind im Bereich der Brennstoffzelle 2 elektrische Leitungen angeordnet, welche die von der Brennstoffzelle 2 erzeugte elektrische Leistung zu einer Energiespeichereinrichtung 5 leiten können. Die Energiespeichereinrichtung 5 setzt sich aus einer Batterie 6 sowie einem Ladungswischenspeicher 7 zusammen, wobei der Ladungswischenspeicher 7 einen weitaus geringeren Innenwiderstand $R_{i,LZS}$ aufweist als die Batterie 6 ($R_{i,BAT}$).

[0024] Des weiteren ist an der Energiespeichereinrichtung 5 ein hier prinzipmäßig angedeuteter elektrischer Verbraucher 8 angeschlossen, welcher die von ihm benötigte elektrische Leistung aus dem Bereich der Energiespeichereinrichtung 5 erhält.

[0025] Beim bevorzugten Einsatzfall des Brennstoffzellensystems 1, nämlich insbesondere in einem Fahrzeug, kann der elektrische Verbraucher 8 aus dem gesamten elektrischen Bordnetz des Fahrzeugs sowie gegebenenfalls einem Antriebsaggregat des Fahrzeugs bestehen. Grundsätzlich ist davon auszugehen, daß der elektrische Verbraucher 8 zumindest teilweise ein sehr dynamisches Verhalten hinsichtlich seiner elektrischen Leistungsaufnahme zeigt. So kann beispielsweise im Bordnetz eines Fahrzeugs durch ein schlagartiges Beschleunigen oder ein schlagartiges Zuschalten von leistungsintensiven Verbrauchern, wie Klimaaggregat, Funkgerät oder dergleichen, im Bereich von wenigen Sekundenbruchteilen eine sehr große elektrische Leistung für die elektrischen Verbraucher 8 erforderlich sein. Systembedingt kann eine Brennstoffzelle 2 diesen hochdynamischen Anforderungen nicht nachkommen, insbesondere, wenn diese mit einem Gaserzeugungssystem 4a gekoppelt ist, welches ihr den für den Betrieb erforderlichen Betriebsstoff zur Verfügung stellt.

[0026] Da es nun extrem aufwendig und teuer ist, derartige Gaserzeugungssysteme 4a und die mit ihnen gekoppelten Brennstoffzellen 2 für hochdynamische Anforderungen ausulegen und aufzubauen, stellt der hier dargestellte Ein-

satz von einer Energiespeichereinrichtung 5 in Zusammenspiel mit der Brennstoffzelle 2 einen sehr günstigen Aufbau dar. Das Brennstoffzellensystem 1 kann in der hier dargestellten Art nämlich über die systembedingt hochdynamisch belastbare Batterie 6 den sehr hohen dynamischen Belastungen, welche insbesondere beim Einsatz in einem Fahrzeug zu Wasser, zu Lande oder in der Luft auftreten können, gerecht werden.

[0027] Andererseits stellt sich systembedingt durch die sehr steife Kennlinie einer Batterie und die dagegen eher weiche Kennlinie einer Brennstoffzelle bei der direkten Koppelung von Brennstoffzelle 2 und Batterie 6 ein Betriebspunkt ein, welcher die Brennstoffzelle entweder sehr ungünstig belastet oder ihre Leistungsfähigkeiten nur unzureichend ausnützt, und welcher andererseits Ladeströme von der Brennstoffzelle 2 zur Batterie bewirkt, welche sehr hoch sind. Aufgrund des im allgemeinen sehr hohen Innenwiderstands $R_{i,BAT}$ der Batterie 6 kommt es aufgrund der sehr hohen Ladeströme zu erheblichen Leistungsverlusten in der Batterie 6. Im ungünstigsten Fall kann die durch diese Leistungsverluste im Bereich des Innenwiderstands $R_{i,BAT}$ der Batterie 6 erzeugte Wärme sogar zu einer Zerstörung oder zumindest zu einer Beeinträchtigung der zu erwartenden Lebensdauer der Batterie 6 führen.

[0028] Das Brennstoffzellensystem 1 gemäß Fig. 1 weist deshalb einen Schalter 9 auf, über welchen die Verbindung zwischen der Brennstoffzelle 2 und der Energiespeichereinrichtung 5 unterbrochen werden kann. Grundsätzlich ist dabei jede Art von Schalter denkbar, besonders günstig ist es jedoch, einen Schalter 9 auf der Basis von Halbleiterbauelementen, beispielsweise MOSFET, einzusetzen, da diese von einem Steuergerät oder dergleichen über vergleichsweise geringe Schaltspannungen, schnell, einfach und annähernd verlustfrei betätigt werden können.

[0029] In Fig. 2 ist eine etwas detailliertere aber immer noch prinzipiell zu verstehende Darstellung der Energiespeichereinrichtung 5 erkennbar. Die Batterie 6 ist dabei zusammen mit ihrem Innenwiderstands $R_{i,BAT}$ dargestellt. In der Batterie 6 ist ein Ladungswischenspeicher 7, welcher hier prinzipmäßig als Kondensator angedeutet wurde, in der Energiespeichereinrichtung 5 parallel zu der Batterie 6 geschaltet. Auch der Ladungswischenspeicher 7 wird in einem realen Aufbau einen hier dargestellten Innenwiderstand $R_{i,LZS}$ aufweisen. Um nun in dem Ladungswischenspeicher 7 von der Brennstoffzelle 2 stammende Energie ohne große Verluste, auch bei sehr hohen Strömen, zwischenspeichern zu können, muß der Innenwiderstands $R_{i,LZS}$ des Ladungswischenspeichers 7 deutlich kleiner sein als der Innenwiderstand $R_{i,BAT}$ der Batterie 6.

[0030] Weitere Anforderungen an den Ladungswischenspeicher 7 sind grundsätzlich nicht zu stellen, so daß dieser beispielsweise als der hier dargestellte Kondensator, als Supercap oder auch als Spule ausgebildet sein kann.

[0031] Das Brennstoffzellensystem 1 mit dem Schalter 9 sowie der Energiespeichereinrichtung 5 läßt sich nun in besonders günstiger Weise in der nachfolgend beschriebenen Art betreiben:

Beispielhaft soll die Systemspannung U_0 in dem System auf ± 5 Volt genau geregelt werden. Sinkt die Systemspannung U_0 unter eine Grenzspannung $U_1 = U_0 - 5$ V, so schaltet sich die Brennstoffzelle 2 über ein Schließen des Schalters 9 an. Es fließt ein gewisser Strom I in den Bereich der Energiespeichereinrichtung 5. Aufgrund des vergleichsweise geringen Innenwiderstands $R_{i,LZS}$ des Ladungswischenspeichers 7, hier des Kondensators 7, fließt der Strom zum größten Teil in den Kondensator. Erst wenn der Kondensator eine entsprechende Ladung aufgenommen hat, wobei die Klemmenspannung weiter angestiegen ist, wird die Batterie zu-

nehmend geladen werden.

[0032] Nach dem Erreichen einer oberen Grenzspannung $U_2 = U_0 + 5 \text{ V}$ wird die Brennstoffzelle 2 über ein Öffnen des Schalters 9 wieder von der Energiespeichereinrichtung 5 getrennt. Nach diesem Abschalten der Brennstoffzelle 2 wird die Batterie 6 jedoch weiter aus dem Kondensator 7 geladen. Gleichzeitig können die Verbraucher 8 weiterhin mit der Spannung aus dem Bereich der Batterie 6 und des Kondensators 7 versorgt werden. Nach dem erneuten Unterschreiten der unteren Grenzspannung U_1 schaltet sich dann die Brennstoffzelle 2 über ein Schließen des Schalters 9 wieder ein und der Regelkreislauf beginnt von Neuem.

[0033] Durch diese Anordnung kann erreicht werden, daß beim Laden der Batterie 6 der Ladestrom nicht direkt auf die Batterie 6 geleitet wird, was aufgrund des sehr hohen Stroms I und des vergleichsweise hohen Innenwiderstands $R_{i,BAT}$ der Batterie 6 zu hohen Ladeverlusten mit einer sehr hohen Wärmeentwicklung führen würde. Der Kondensator 7 wirkt vielmehr als Zwischenspeicher für den Strom. Die Ladeverluste am Innenwiderstand $R_{i,BAT}$ der Batterie 6 und dem Innenwiderstand $R_{i,LZS}$ des Kondensators 7 lassen sich dadurch gravierend reduzieren.

[0034] Außerdem kann dieses System, wie bereits mehrfach erwähnt, auf Lastsprünge in Bruchteilen von Sekunden reagieren, da die Batterie 6 im Vergleich zu der Brennstoffzelle 2 systembedingt eine weitaus höhere Dynamik erlaubt. Für kurzzeitige Leistungsanforderungen, wie beispielsweise Spannungsspitzen, wenn ein großer Elektromotor anläuft, liegt die Systemleistung aufgrund des zusätzlichen Kondensators 7 teilweise sogar deutlich über der Leistung der Brennstoffzelle 2.

[0035] Solange ausreichend Betriebsstoff aus dem Gaserzeugungssystem 4a und dem Luftversorgungssystem 4b zu der Brennstoffzelle 2 gefördert wird, kann das System eine Leistung abgeben, welche sich entsprechend aus der Summe der Leistung der Brennstoffzelle 2 und der Leistung der Batterie 6 bzw. der Energiespeichereinrichtung 5 ergibt.

[0036] Sind im Bereich der Brennstoffzelle 2 oder in der Verbindung zwischen dem Gaserzeugungssystem 4a und dem Anodenraum 2a der Brennstoffzelle 2 weitere Volumina angeordnet, welche in der Lage sind, Betriebsstoff zwischenzuspeichern, so kann außerdem bei ausgeschaltetem Gaserzeugungssystem 4a die Brennstoffzelle 2 für mehrere Sekunden weiterhin Leistung liefern. Selbstverständlich ist dies auch dann möglich, wenn kurzzeitig mehr Leistung gefordert wird als die Leistung, welche äquivalent zu einer Menge an Betriebsstoff ist, welche durch das Gaserzeugungssystem 4a zur Verfügung gestellt werden kann. Die zusätzlichen Speichervolumina können dabei aus zusätzlichen Speichertanks, oder auch aus den Leitungslängen selbst bestehen.

[0037] Fig. 3 zeigt einen Aufbau der Verbindung zwischen dem Gaserzeugungssystem 4a und dem Anodenraum 2a der Brennstoffzelle 2, welcher dies beispielhaft illustrieren soll. Hier ist über einen Bypass 10 ein Kreislauf gebildet, wobei der Anodenraum 2a Bestandteil dieses Kreislaufs ist. Der Betriebsstoff kann in diesem Kreislauf geführt werden, was einerseits der Speicherung des Betriebsstoffs und andererseits der Kühlung des Anodenraums 2a dienen kann. Um die für die Kreislaufführung erforderliche Energie bereitzustellen, ist gemäß dem Ausführungsbeispiel in Fig. 3 eine Gasstrahlpumpe 11, eine sogenannte "jetpump", eingesetzt, welche den Kreislauf mit Hilfe der in dem Volumenstrom, welcher von dem Gaserzeugungssystem 4a zu dem Anodenraum 2a gefördert wird, enthaltenen kinetischen Energie betreibt.

[0038] Neben einer derartigen Lösung mit Bypass 10 sind selbstverständlich auch andere Möglichkeiten der Zwi-

schenspeicherung, beispielsweise in Speichertanks sich erweiterten Leitungsbereichen, bewußt groß gewählten Leitungslängen oder dergleichen denkbar.

[0039] In Fig. 4 ist in einem Diagramm der zeitliche Verlauf von Strom I und Spannung U in dem Brennstoffzellensystem 1 dargestellt. Die dicke Linie kennzeichnet den Verlauf der Größen beim Aufladen der Batterie 6. Mit dünnen Linien dargestellt ist der Verlauf der Größen beim belasteten Brennstoffzellensystem 1. Es ist zu erkennen, daß durch eine Pulsweitenmodulation des Aufschaltens der Brennstoffzelle 2 auf das Brennstoffzellensystem 1 die Systemspannung U_0 lastunabhängig geregelt werden kann. Zur weiteren Stabilisierung der Spannung kann dabei selbstverständlich die Frequenz der Pulsweitenmodulation erhöht werden.

[0040] Die Pulsweitenmodulation stellt dabei grundsätzlich eine Alternative zu dem reinen Schalten im Bereich des sich aus oberer Grenzspannung U_1 und unterer Grenzspannung U_2 bildenden Spannungsfensters bzw. Spannungsreichs dar.

[0041] Die Pulsweitenmodulation läßt sich, wie bereits erwähnt, durch eine Änderung der Pulsweite beeinflussen. So kann beispielsweise bei steigender Systemspannung U_0 die Pulsweite der Phasen, in welchen die Brennstoffzelle 2 zum Brennstoffzellensystem 1 zugeschaltet ist, verkürzt werden. Vergleichbares gilt selbstverständlich auch für die zuvor beschriebene Variante, wobei zwischen den Grenzspannungen U_1 , U_2 geschaltet wird. Diese vorgegebenen minimalen und maximalen Systemspannungen können nämlich in Abhängigkeit des Ladezustands der Batterie variiert werden, wobei das gesamte Spannungsfenster vergrößert, verkleinert oder beispielsweise bei steigendem Ladezustand der Batterie 6 insgesamt verschoben werden kann.

[0042] Die Systemspannung U_0 in dem Brennstoffzellensystem 1 setzt grundsätzlich voraus, daß durch die Einrichtungen 4a, 4b zur Bereitstellung der Betriebsstoffe immer eine ausreichende Menge an Betriebsstoffen für die erforderliche Leistung bereitgestellt werden kann. Um dies auch bei vergleichsweise kostengünstig und einfach aufgebauten Einrichtungen 4a, 4b zur Bereitstellung der Betriebsstoffe, welche damit prinzipbedingt, wie oben bereits erläutert, sehr undynamisch werden, sicherstellen zu können, kann über die Schaltzyklen des Schalters 9 eine Steuer- und Regelgröße für die Ansteuerung oder Regelung der Einrichtungen 4a, 4b zum Bereitstellen der Betriebsstoffe generiert werden.

[0043] So kann beispielsweise die Menge durch die Einrichtungen 4a, 4b zur Bereitstellung der Betriebsstoffe bereitgestellten Betriebsstoffe, insbesondere die Menge an für den Anodenraum 2a der Brennstoffzelle 2 bereitgestelltem Wasserstoff in Abhängigkeit des Lastzustands der Brennstoffzelle 2 und/oder einem Last- und Ladezustand der Energiespeichereinrichtung 5 gesteuert werden. Somit läßt sich sicherstellen, daß bereits im Vorfeld dafür gesorgt wird, daß ausreichend Betriebsstoffe zu der Brennstoffzelle 2 gelangen, ehe die Batterie 6 nicht mehr in der Lage ist, die gewünschte Spannung aufgrund eines schlechten Ladezustands abzugeben.

[0044] Bei sinkendem Ladezustand der Batterie 6 oder bei steigendem Lastzustand in dem Brennstoffzellensystem 1 kann also die Menge an bereitgestelltem Betriebsstoff vorsorglich erhöht werden. Eine besonders günstige Größe, um diese Regelung durchzuführen, ist beispielsweise der mittlere Ladestrom, mit welchem die Batterie 6 von der Brennstoffzelle 2 geladen wird. In Abhängigkeit dieses mittleren Ladestroms kann die auf der Anodenseite 2a der Brennstoffzelle 2 zugeführte Menge an Betriebsstoff variiert werden.

[0045] Grundsätzlich ist natürlich auch der Umkehrschluß

möglich, so daß bei einem Signal, daß die Menge an Betriebsstoff zu sinken droht, beispielsweise weil Speicher langsam leer werden, eine Rückmeldung an das Brennstoffzellensystem 1 erfolgt, so daß, insbesondere bei sinkender Menge an Betriebsstoffen auf der Anodenseite 2a der Brennstoffzelle 2, der mittlere Ladestrom vorsorglich reduziert werden kann.

[0046] Selbstverständlich läßt sich in das entsprechende System auch eine Art "Not-Aus"-Variante integrieren, so daß beim Unterschreiten eines vorgegebenen minimalen Ladestroms der Batterie 6 sowohl die Brennstoffzelle 2 als auch die Einrichtungen 4a, 4b zur Bereitstellung der Betriebsstoffe abgeschaltet werden, um einem Schaden der Systemkomponenten vorzubeugen.

Patentansprüche

1. Brennstoffzellensystem mit Einrichtungen zum Bereitstellen der Betriebsstoffe für eine Brennstoffzelle und mit einer elektrischen Energiespeichereinrichtung, dadurch gekennzeichnet, daß die Energiespeichereinrichtung (5) eine Batterie (6) und einen Ladungszwischenspeicher (7) mit geringerem Innenwiderstand ($R_{i,LZS}$) als der Innenwiderstand ($R_{i,BAT}$) der Batterie (6) aufweist, wobei in der elektrischen Verbindung zwischen der Energiespeichereinrichtung (5) und der Brennstoffzelle (2) ein Schalter (9) vorgesehen ist.
2. Brennstoffzellensystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Schalter (9) als elektrischer Schalter auf Basis von Halbleiterbauelementen ausgebildet ist.
3. Brennstoffzellensystem nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Ladungszwischenspeicher (7) als Kondensator ausgebildet ist.
4. Brennstoffzellensystem nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Ladungszwischenspeicher (7) als Supercap ausgebildet ist.
5. Brennstoffzellensystem nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Ladungszwischenspeicher (7) als Spule ausgebildet ist.
6. Brennstoffzellensystem nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung zum Bereitstellen der Betriebsstoffe für einen Kathodenraum (2b) der Brennstoffzelle (2) als Luftversorgungssystem (4b) und für einen Anodenraum (2a) der Brennstoffzelle (2) als Gaserzeugungssystem (4a) ausgebildet ist.
7. Brennstoffzellensystem nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen dem Anodenraum (2a) und dem Gaserzeugungssystem (4a) Speichervolumina zum Zwischenspeichern von nicht verbrauchten Betriebsstoffen angeordnet sind.
8. Brennstoffzellensystem nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Anodenraum (2a) der Brennstoffzelle (2) eine Bypassleitung (10) aufweist, über welche der Betriebsstoff im Kreislauf geführt ist.
9. Brennstoffzellensystem nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß in dem Kreislauf eine Gasstrahlpumpe (11) angeordnet ist, welche von dem vom Gaserzeugungssystem (4a) stammenden Betriebsstoff-Volumenstrom antreibbar ist.
10. Verfahren zum Betreiben eines Brennstoffzellensystems nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß zum Laden der Energiespeichereinrichtung (5) eine Systemspannung (U_0) des Brennstoffzellensystems (1) derart geregelt wird, daß durch ein Öffnen oder Schließen des Schalters (9) zwischen der Brennstoffzelle (2) und der Energiespeichereinrichtung

(5) die Systemspannung (U_0) konstant in einem vorgegebenen Spannungsbereich gehalten wird.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß beim Unterschreiten einer vorgegebenen minimalen Systemspannung (U_1) der Schalter (9) geschlossen wird und daß beim Überschreiten einer vorgegebenen maximalen Systemspannung (U_2) der Schalter (9) geöffnet wird.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die vorgegebenen minimalen und maximalen Systemspannungen (U_1 , U_2) in Abhängigkeit eines Ladezustandes der Batterie (6) variiert werden.

13. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Verbindung zwischen der Brennstoffzelle (2) und der Energiespeichereinrichtung (5) pulsweitenmoduliert geschaltet wird, wobei die Pulsweite in Abhängigkeit der jeweils aktuellen Systemspannung (U) gesteuert wird.

14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß bei steigender Systemspannung (U_0) die Pulsweite der Phasen, in welchen die Brennstoffzelle (2) zum System zugeschaltet ist, verkürzt werden.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß während der Zeiträume, in welchen der Schalter (9) geöffnet ist, die Batterie (6) von dem Ladungszwischenspeicher (7) geladen wird.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß Schaltzyklen des Schalters (9) als Steuer- oder Regelgröße für die Ansteuerung oder Regelung der Einrichtungen (4a, 4b) zum Bereitstellen der Betriebsstoffe verwendet werden.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Menge an durch die Einrichtungen (4a, 4b) zur Bereitstellung der Betriebsstoffe bereitgestellten Betriebsstoffen in Abhängigkeit von einem Lastzustand der Brennstoffzelle (2) und/oder einem Last- und Ladezustand der Energiespeichereinrichtung (5) gesteuert wird.

18. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß bei sinkendem Ladezustand der Batterie (6) oder bei steigendem Lastzustand im Brennstoffzellensystem (1) die Menge an durch die Einrichtung (4a, 4b) zur Bereitstellung der Betriebsstoffe bereitgestellten Betriebsstoffen erhöht wird.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß ein mittlerer Ladestrom, mit welchem die Batterie (6) von der Brennstoffzelle (2) geladen wird, in Abhängigkeit der auf der Anodenseite (2a) der Brennstoffzelle (2) vorhandenen Menge an Betriebsstoff variiert wird.

20. Verfahren nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß bei sinkender Menge an Betriebsstoff auf der Anodenseite (2a) der Brennstoffzelle (2) der mittlere Ladestrom reduziert wird.

21. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß beim Unterschreiten eines vorgegebenen minimalen Ladestroms der Batterie (6) die Brennstoffzelle (2) und die Einrichtungen (4a, 4b) zur Bereitstellung der Betriebsstoffe abgeschaltet werden.

22. Verwendung des Brennstoffzellensystems nach einem der Ansprüche 1 bis 9 in einem Fahrzeug.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

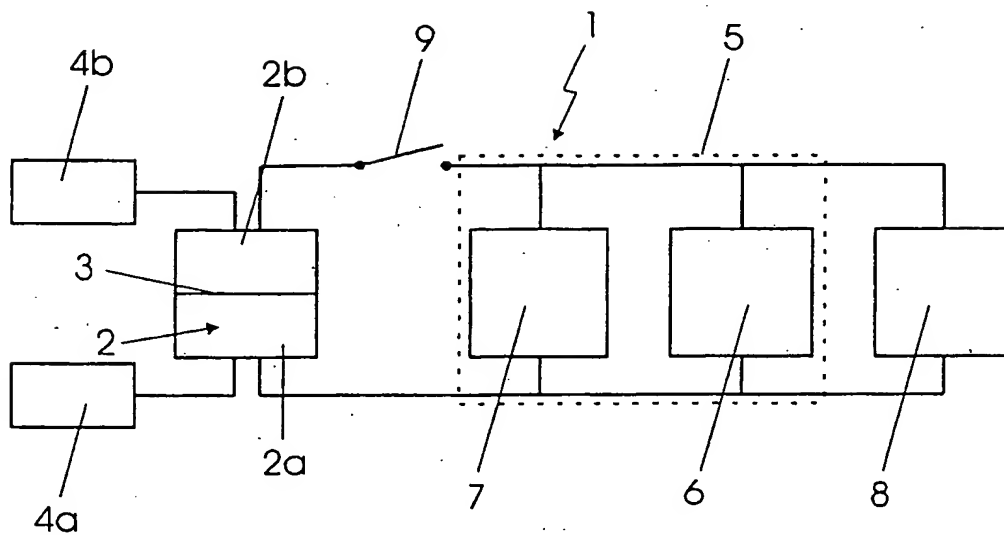


Fig. 1

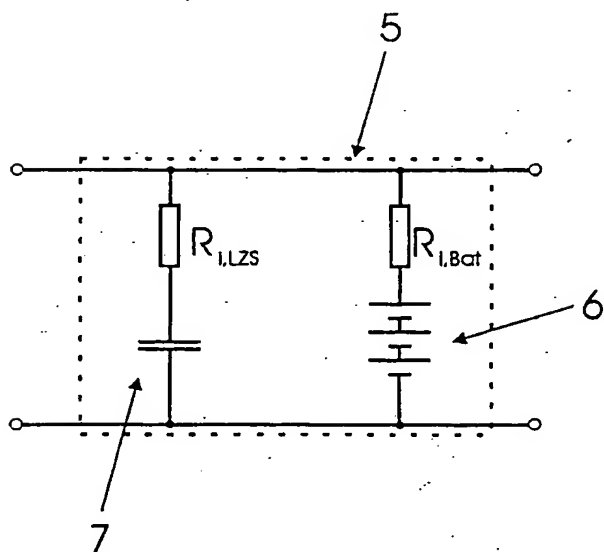


Fig. 2

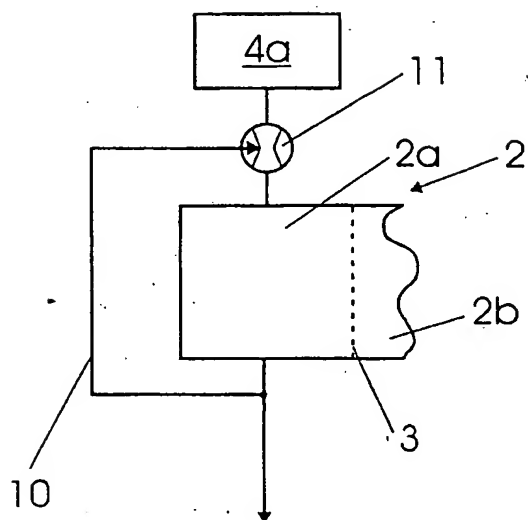


Fig.3

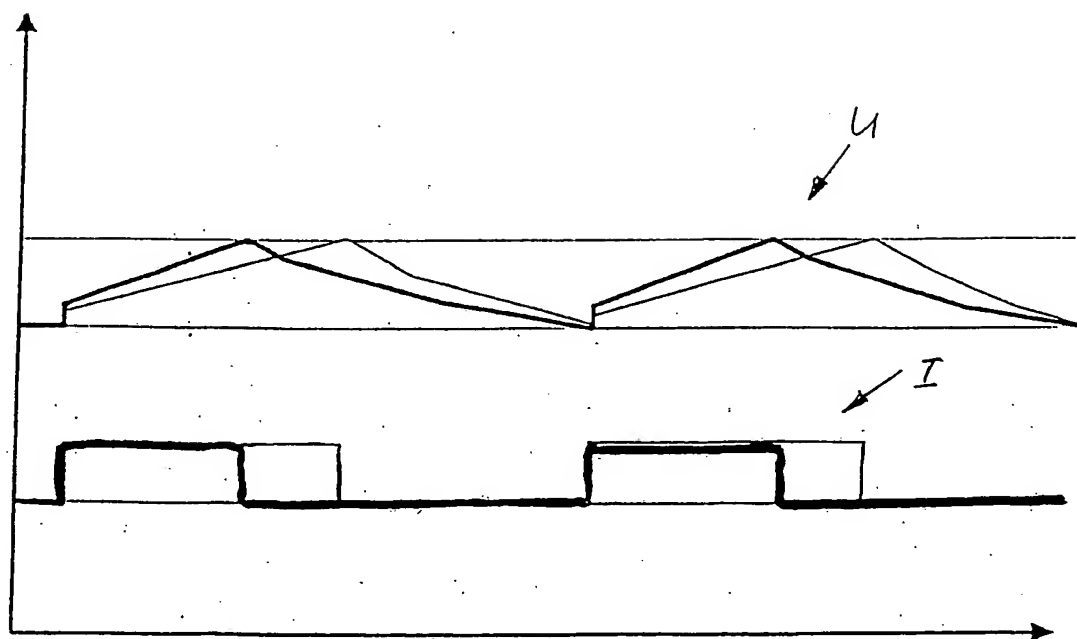


Fig.4